



Docket No.: Z&PINFP10599

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313 20231.

By: 

Date: August 4, 2003

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Dirk Manger
Appl. No. : 10/612,628
Filed : July 2, 2003
Title : Method for Locally Heating a Region in a Semiconductor Substrate

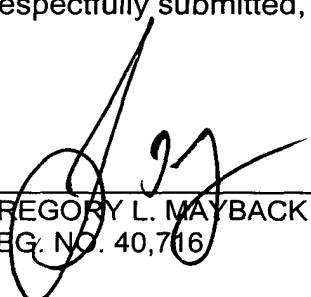
CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner for Patents,
Alexandria, VA 22313-1450
Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 29 642.1 filed July 2, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,



GREGORY L. MAYBACK
REG. NO. 40,716

Date: August 4, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/mjb

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 29 642.1

Anmeldetag: 02. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Halbleitersubstrat angeordneten Bereichs

IPC: H 01 L 21/324

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust



Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Substrat angeordneten Bereichs angegeben, das die Schritte
5 des Bereitstellens eines Substrats, des Erzeugens zumindest eines in dem Substrat angeordneten Bereichs, der einen geringeren spezifischen Widerstand aufweist als das umgebende Substrat, sowie des lokalen Erhitzens des Bereichs durch Induktion von Wirbelströmen mittels eingestrahlter elektromagnetischer Energie umfaßt.
10

Fig. 2C

Beschreibung

Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Halbleitersubstrat angeordneten Bereichs

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Halbleitersubstrat angeordneten Bereichs, insbesondere zum Erhitzen einer vergrabenen Platte ("buried plate") eines Grabenkondensators.

10

Seit den frühen Tagen der Mikroelektronik werden immer höhere Speicherdichten auf einem Chip angestrebt. Solche gesteigerten Speicherdichten bei gleichzeitig reduzierten Herstellungskosten, insbesondere im Bereich der DRAM-

15 Speicherchips, werden gegenwärtig durch eine Verkleinerung der minimalen Dimensionen der Speicherzellen, der sogenannten "Groundrule", erzielt.

In dynamischen Schreib-/Lesespeichern mit wahlfreiem Zugriff (DRAMs) wird der Ladungszustand eines Kondensators zur Repräsentation eines Datenbits genutzt. Eine DRAM-Speicherzelle umfaßt darüber hinaus noch einen sogenannten Auswahltransistor, der mit dem Kondensator verbunden ist. Der Transistor ist dabei typischerweise ein MOS-Transistor. Das
25 oben geschilderte fortlaufende Bestreben nach Verkleinerung der Speichervorrichtungen fördert den Entwurf von DRAMs mit größerer Dichte und kleinerer charakteristischer Größe, d.h. kleinerer Speicherzellenfläche. Dies wird durch den Einsatz kleinerer Komponenten, also auch kleinerer Kondensatoren ermöglicht. Allerdings wird durch eine Verkleinerung der Kondensatoren auch deren Speicherkapazität erniedrigt, was sich negativ auf die Funktion der Speicherzelle auswirkt: Zum einen kann die erforderliche Zuverlässigkeit beim Auslesen des gespeicherten Wertes nicht mehr garantiert werden, zum anderen
35 muß bei DRAMs die Auffrischfrequenz erhöht werden.

Eine Lösung dieses Problems bietet der beispielsweise in Fig. 2E gezeigte Grabenkondensator, bei dem die Kondensatorfläche vertikal in einem Graben im Substrat angeordnet ist. Diese Anordnung erlaubt eine große Kondensatorfläche, d.h. eine ausreichend große Kapazität, bei gleichzeitig geringem Oberflächenbedarf. Zur Herstellung eines Grabenkondensators wird zuerst ein Graben in ein Substrat, das typischerweise aus gering dotiertem Silizium besteht, geätzt. Zur Bildung der ersten Kondensatorelektrode 3 wird dann typischerweise ein Dotierstoff in das die Grabenwand umgebende Substratmaterial eingebracht. Dazu wird der Graben beispielsweise mit einem hoch dotierten Material ausgekleidet, das jedoch am oberen Ende des Grabens wieder entfernt wird, so daß nur ein unterer Grabenbereich mit dem hochdotierten Material bedeckt ist. In einem nachfolgenden Temperungsschritt diffundiert dann der Dotierstoff in die umgebende Grabenwand aus. Das ursprüngliche Trägermaterial des Dotierstoffs wird in einem anschließenden Ätzschritt wieder aus dem Graben entfernt. Man erhält so in einem Bereich unterhalb der Substratoberfläche einen hochdotierten Bereich der Grabenwand. Dieser Bereich wird als vergrabene Platte ("buried plate") bezeichnet und dient als erste Kondensatorelektrode. Die Grabenwand wird dann mit einem Dielektrikum 7b ausgekleidet, wobei als Dielektrikum beispielsweise ONO , SiN aber auch sowohl dotiertes wie undotiertes SiO_2 verwendet werden können. Anschließend wird der Graben mit einem elektrisch leitenden Füllmaterial 8b aufgefüllt. Dieses Füllmaterial bildet die zweite Kondensatorelektrode. Vorzugsweise ist zusätzlich in einem oberen Bereich des Grabenisolators ein Isolatorkragen ("collar") ausgebildet, der einen Leckstrom zur ersten Elektrode hin verhindert. Für das elektrisch leitende Füllmaterial wird typischerweise hochdotiertes Polysilizium verwendet. Als Dotierstoff eignet sich beispielsweise As, das in einer Konzentration von 10^{19} bis 10^{20} cm^{-3} in das Polysilizium eingebracht ist.

Zur Herstellung einer Speicherzelle muß der Kondensator schließlich noch mit beispielsweise einem S/D-Gebiet eines Feldeffekt-Transistors verbunden werden, was beispielsweise über einen Strap-Kontakt geschehen kann.

5

Wie oben geschildert, darf die Kapazität des Grabenkondensators einen bestimmten Wert nicht unterschreiten, um noch eine zuverlässige Speicherung von Information in Form eines elektrischen Ladungszustandes zu gewährleisten. Bei immer kleineren Strukturgrößen auf der Substratoberfläche erhöhen sich damit zwangsläufig die Aspektverhältnisse der Strukturen. Bezogen auf den Grabenkondensator heißt das, daß der Quotient von Grabenbreite und Grabentiefe immer kleiner wird. Diese Entwicklung stellt ein großes technologisches Problem für die Abscheidungsprozesse dar, mit denen die Grabenwände konform bedeckt werden. Dies erfolgt, wie oben beschrieben, etwa bei der Abscheidung des Kondensatordielektrikums oder der anschließenden Grabenfüllung mit dem Material der zweiten Kondensatorelektrode.

20

Bisher wurde dieses Problem mittels konformer Abscheidung des Zielmaterials aus der Gasphase bewältigt. Vorherrschend ist dabei bisher die CVD-Technik ("Chemical Vapor Deposition"), deren Grundprinzip darin besteht, ausgewählte Vorläufergase über ein aufgeheiztes Substrat zu leiten, auf dem die gewünschte Schicht abgeschieden werden soll. Auf der heißen Substratoberfläche kommt es zu einer Reaktion der Vorläufergase, so daß als Reaktionsprodukte die gewünschte Schicht auf der Substratoberfläche entsteht sowie Gase, die aus dem Reaktor wieder abgeführt werden. Entscheidend ist hierbei die Oberflächentemperatur des Substrats auf dem die Schicht abgeschieden werden soll. Diese Oberflächentemperatur liegt typischerweise zwischen 150°C und 1250°C.

35

Am Beispiel der Siliziumepitaxie sollen hier die drei wesentlichen chemisch-physikalischen Vorgänge, die bei der Gasphasenabscheidung ablaufen, erläutert werden. Als Vorläu-

fergase dienen in diesem Fall SiCl_4 und H_2 . Bei einer hohen Reaktionstemperatur von ca. 1150°C zerfällt das SiCl_4 in niedermolekulare Bestandteile (Vorgang 1), die an der heißen Siliziumsubstrat-Oberfläche adsorbiert werden (Vorgang 2).

- 5 Schließlich kommt es an diesen Oberflächen zu einer Reaktion von SiCl_2 mit H_2 unter Bildung von Si und HCl (Vorgang 3). Während das Si als epitaktische Schicht auf der Oberfläche zurückbleibt, wird das HCl-Gas wieder aus dem Reaktor abgeführt. Ähnlich werden Polysiliziumschichten hergestellt, die
10 fast ausnahmslos mit Hilfe des Niederdruck-CVD-Verfahrens abgeschieden werden. Das Vorläufergas Silan (SiH_4) zerfällt hierbei an den heißen Oberflächen in Silizium und Wasserstoff, wobei die Reaktion typischerweise bei einer Temperatur von 650°C und einem Druck von 60 Pa abläuft.

15

- Im gegenwärtigen Stand der Technik können allerdings nur eine sehr begrenzte Anzahl von Materialien mittels CVD-Prozessen so abgeschieden werden, daß mindestens eine Kantenbedeckung von 90% erzielt wird. Dabei ist die Kantenbedeckung
20 als das Verhältnis zwischen der Dicke der abgeschiedenen Schicht an ihrer dünnsten Stelle und an ihrer dicksten Stelle definiert. Als typische Materialien werden bei diesen herkömmlichen CVD-Prozessen beispielsweise SiN, SiO_2 oder Polysilizium verwendet.

25

- Für Technologien mit minimalen Strukturgrößen von weniger als 110 nm ist es jedoch wünschenswert, auch andere Materialien mit Kantenbedeckungen von 100% oder mehr in Grabenkondensatoren abzuscheiden. Diese neuen Materialien sind vor-
30 teilhaft, damit der Kondensator auch mit verkleinerten Abmessungen die Anforderungen an Kapazität und Elektrodenwiderstand erfüllt. Mit den oben beschriebenen herkömmlichen Materialien können diese Anforderungen nicht mehr unbedingt zuverlässig erreicht werden. Als Materialien für Grabenkonden-
35 satoren kommen beispielsweise Ta_2O_5 als hoch-k Dielektrikum und TiN, TaN bzw. W als niederohmige Elektrodenmaterialien in Frage.

Weiterhin ist, wie oben bereits erwähnt, eine Kantenbedeckung von 100% oder mehr erwünscht, um die Ausbildung unerwünschter Hohlräume (voids) oder Nähte (seams) zu verhindern.
5 Ein solcher unerwünschter Hohlraum ist in Fig. 6 gezeigt.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das eines oder mehrere der obenstehend dargestellten Probleme überwinden.

10

Diese und weitere Aufgaben werden durch die Verfahren nach Anspruch 1 und Anspruch 8 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.
15

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Substrat angeordneten Bereichs zur Verfügung gestellt, das die
20 Schritte umfaßt:

- Bereitstellen eines Substrats;
- Erzeugen zumindest eines in dem Substrat angeordneten Bereichs, der einen geringeren spezifischen Widerstand aufweist als das umgebende Substrat;
- lokales Erhitzen des Bereichs durch Induktion von Wirbelströmen mittels eingestrahlter elektromagnetischer Energie.
30

Elektromagnetische Strahlung ist geeignet, um Wirbelströme in elektrisch leitenden Materialien zu induzieren. Diese Wirbelströme führen aufgrund des spezifischen Widerstands des Materials, in dem sie induziert werden, zu einer lokalen Erhitzung. Insbesondere ist es vorteilhaft, daß die Absorption von elektromagnetischer Strahlung bei den Materialien, die in
35

der Halbleiterproduktion verwendet werden, sehr unterschiedlich ist. Durch eine höhere Dotierung des zu erhitzenden Bereichs ist dort die Absorptionsrate für elektromagnetische Strahlung deutlich höher als im umgebenden Substrat. Somit

5 wird die eingestrahlte elektromagnetische Energie vorwiegend in diesem Bereich absorbiert, während sie das gering oder gar nicht dotierte Substrat der Umgebung fast verlustfrei durchdringt. So weist beispielsweise schwach dotiertes Silizium als Substratmaterial eine Eindringtiefe von mehr als 1mm auf,

10 während hochdotiertes Material, bsw. einer vergrabenen Platte, nur eine Eindringtiefe im Mikrometerbereich aufweist. Daher durchdringt die elektromagnetische Strahlung praktisch ungehindert das Substrat und wird nur im hochdotierten Bereich absorbiert. Dies führt dann zur Bildung von Wirbelströ-

15 men in den Absorptionsbereichen, die sich daraufhin erhitzen. Typischerweise wird die eingestrahlte Leistung im Kilowatt-Bereich liegen, wobei jedoch die spezifischen Leistungen für jede einzelne Anwendung eigens angepaßt werden müssen. Die jeweiligen Prozeßfenster müßten experimentell bestimmt wer-

20 den.

Durch das lokale Erhitzen eines im Substrat angeordneten Bereichs kann man in der Nachbarschaft dieses erhitzten Bereichs thermische Prozesse ablaufen lassen, die in den kühle-

25 ren Bereichen der Umgebung nicht ablaufen. So ist insbesondere der thermische Zerfall von Vorläufergasen an einer freien Oberfläche des erhitzten Bereichs oder zumindest an einer erwünscht, um so beispielsweise eine konforme Schicht auf der freien Oberfläche abzuscheiden. Ein weiterer Vorteil besteht

30 darin, daß man Diffusionsprozesse lokal in Gang setzen kann. Darüberhinaus besteht ein Vorteil des lokalen Erhitzens eines im Substrat angeordneten Bereichs darin, daß nun nicht mehr die gesamte Halbleiterstruktur erwärmt werden muß. Dies vermindert zum einen die thermische Belastung während des Her-

35 stellungsprozesses, zum anderen können so auch unerwünschte Diffusionsprozesse unterdrückt werden.

Gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung weist die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge von $1 \cdot 10^{-5}$ m bis $1,4 \cdot 10^{-4}$ m auf.

5 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung weist der im Substrat angeordnete Bereich einen spezifischen Widerstand von $1 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ bis $2 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$ auf, bevorzugt einen spezifischen Widerstand von $1 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ bis $1 \cdot 10^{-5} \Omega\text{m}$.

10 Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die elektromagnetische Strahlung unter einem senkrechten Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Substrats eingestrahlt.

15 Dies sorgt für eine gleichmäßige Einstrahlung der elektromagnetischen Energie über die Gesamtfläche des Wafers.

 Gemäß noch einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die elektromagnetische Strahlung unter
20 einem von 90° verschiedenen Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Halbleiterprodukts eingestrahlt.

 Dies gestattet nicht nur die gezielte Erhitzung seitlicher Bereiche der vergrabenen Platte, sondern kann auch vorteilhaft sein, wenn beispielsweise die Konstruktionsmerkmale der Reaktionskammer, in der die Beschichtung erfolgen soll, eine Anordnung des Mittels zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung direkt ober- oder unterhalb des Wafers nicht erlauben.

30

 Gemäß noch einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die elektromagnetische Strahlung unter einem variablen Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Halbleiterprodukts eingestrahlt wird.

35

 Auf diese Weise können die Einstrahlwinkel den jeweiligen Erfordernissen, z.B. aufgrund unterschiedlichen Abschei-

dungsverhaltens verschiedener Materialien, besonders gut angepaßt werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung während der Einstrahlung verändert.

Dadurch kann der erhitzte Bereich gezielt verändert werden. Beginnt beispielsweise die Einstrahlung unter einem Winkel von 90° zur Hauptoberfläche, so wird beispielsweise nur ein unterer Bereich einer vergrabenen Platte erhitzt. Dort beginnt dann auch der Abscheidungsprozeß aus dem Vorläufergas, d.h. insbesondere bildet sich dort die gewünschte Schicht aus. Durch eine Veränderung des Einstrahlwinkels weg von 90° werden dann auch weiter oben liegende Bereiche der vergrabenen Platte der elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt und infolge der Wirbelstrombildung erhitzt. Daher erfolgt dann auch in diesen höher gelegenen Bereichen eine Abscheidung von Material aus dem Vorläufergas. Zwar führt auch die Wärmeleitung in der vergrabenen Platte dazu, daß auch Bereiche, die nicht direkt durch die elektromagnetische Strahlung erfaßt sind, sich erhitzen, jedoch kann die gezielte Veränderung des Einstrahlwinkels diesen Prozeß zumindest unterstützen und somit beschleunigen. Durch das oben beschriebene Vorgehen läßt sich beispielsweise eine gezielte Auffüllung des Grabens eines Grabenkondensators vom Boden her durchführen. Durch die Füllung vom Boden her kann die Ausbildung von unerwünschten Hohlräumen vermieden werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird ein CVD-Verfahren zum lokalen Abscheiden zur Verfügung gestellt, das die Schritte umfaßt:

- Bereitstellen eines Substrats mit zumindest einem darin angeordneten Bereich geringeren spezifischen Widerstands, wobei das Substrat und der Bereich eine Tempera-

tur unterhalb einer vorgegebenen Abscheidungstemperatur aufweisen;

- Bereitstellen zumindest eines Vorläufergases;

5

- lokales Erhitzen des Bereichs durch Induktion von Wirbelströmen mittels eingestrahelter elektromagnetischer Energie, wobei der Bereich auf eine Temperatur oberhalb einer vorgegebenen Abscheidungstemperatur erhitzt wird.

10

Bei diesem Verfahren werden durch die Einstrahlung elektromagnetischer Energie in definierten Bereichen Wirbelströme induziert. Diese definierten Bereiche erhitzen sich dann gegenüber ihrer Umgebung. Da sich die Temperatur der Umgebung unterhalb einer vorgegebenen Abscheidungstemperatur eines Vorläufergases oder eines Gemisches von Vorläufergasen befindet, sich der lokal erhitzte Bereich aber über der vorgegebenen Abscheidungstemperatur des Vorläufergases oder des Gemisches von Vorläufergasen befindet, erfolgt an einer freien Oberfläche des erhitzten Bereichs lokal eine Abscheidungsreaktion, d.h. es bildet sich lokal eine Schicht eines gewünschten Materials aus. Alternativ kann aber auch die freie Oberfläche, an der die Abscheidungsreaktion stattfindet, lediglich in der Nähe des erhitzten Bereichs angeordnet sein. Dabei kommt insbesondere in Betracht, daß nur zumindest eine dünne Schicht zwischen der Oberfläche und dem erhitzten Bereich angeordnet ist.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist der Bereich eine vergrabene Platte eines Grabenkondensators.

Insbesondere bei der Herstellung von Grabenkondensatoren mit hohem Aspektverhältnis, z.B. mit einer Grabenweite von ungefähr 0,1 μm bei einer Grabentiefe von ungefähr 6 μm , ist es vorteilhaft, einen unteren Bereich des Grabens zu erhitzen, um so die Abscheidung aus dem Vorläufergas am Boden des

Grabens zu beginnen. In dem erhitzten Bereich setzt die Abscheidung des gewünschten Materials ein, während in den nicht geheizten Bereichen die Abscheidung ausbleibt. Es ist daher vorteilhaft, die ohnehin notwendige vergrabene Platte als

5 hoch dotierten, zu erhitzenden Bereich zu wählen.

Gemäß noch einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein unterer Bereich der vergrabenen Platte erhitzt.

10 Dadurch wird erreicht, daß die Abscheidung am Boden des
Grabens beginnt. Dadurch wird verhindert, daß sich bei der
Abscheidung Hohlräume ausbilden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegen-
15 den Erfindung wird nach dem Schritt des lokalen Erhitzens ein
zweites Vorläufergas eingebracht, wobei das Substrat und der
Bereich eine Temperatur aufweisen, die unterhalb einer vorge-
gebenen Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases
liegt, und anschließend der Bereich durch Induktion von Wir-
20 belströmen mittels eingestrahlter elektromagnetischer Energie
lokal erhitzt wird, wobei die Temperatur des erhitzten Be-
reichs größer als die vorgegebene Abscheidungstemperatur des
zweiten Vorläufergases ist. Auch hier kann das zweite Vorläu-
fergas ein Gemisch aus mehreren Vorläufergasen sein.

Dadurch kann über eine erste Schicht, die durch Abscheidung aus dem ersten Vorläufergas erzeugt wurde, eine zweite Schicht in ähnlicher Art und Weise aufgebracht werden. Insbesondere kann so auf eine dielektrische Schicht eines Grabenkondensators anschließend eine Elektrodenschicht aufgebracht werden. Dabei wird ausgenutzt, daß die Abscheidung nicht nur auf einer freien Oberfläche des im Substrat angeordneten Bereichs erfolgen kann, sondern auch an einer freien Oberfläche, die zu diesem Bereich benachbart ist. Insbesondere können eine oder mehrere dünne Schichten zwischen einer solchen freien Oberfläche und dem Bereich angeordnet sein. Beispielsweise ist dies der Fall, wenn der Bereich die vergrabene

Platte eines Grabenkondensators ist und das Kondensatordielektrikum als dünne Schicht ausgebildet ist. Die dünne Schicht wird dann indirekt so weit erhitzt, daß in dem Bereich ihrer freien Oberfläche, der dem lokal erhitzten Bereich benachbart ist, eine Abscheidungsreaktion aus einem weiteren Vorläufergas erfolgen kann. So kann beispielsweise das Material für eine zweite Kondensatorelektrode auf die dielektrische Schicht abgeschieden werden.

10 Gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist zwischen dem Schritt des ersten lokalen Erhitzens und dem Schritt des zweiten lokalen Erhitzens ein Kühl-
schritt eingefügt, wobei durch den Kühlschritt die Temperatur des Substrats und des Bereichs unter die vorgegebene Abschei-
15 dungstemperatur des zweiten Vorläufergases gebracht wird.

Da der im Substrat angeordnete Bereich zumindest lokal erhitzt wird, um eine Abscheidung aus dem ersten Vorläufergas herbeizuführen, können die erhitzten Bereiche eine Temperatur
20 aufweisen, die über der vorgegebenen Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases liegt. Insbesondere ist zu beachten, daß durch die Wärmeleitung des Materials nicht nur die erhitzten Bereiche, sondern auch zu diesen benachbarte Bereiche bis hin zum gesamten im Substrat angeordneten Bereich ge-
25 ringeren spezifischen Widerstands eine Temperatur oberhalb der Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases aufweisen können. Um trotzdem auch für das zweite Vorläufergas eine lokale Abscheidung zu erreichen, wird dann ein Kühlschritt ausgeführt, in dem die vorher erhitzten Bereiche auf eine
30 Temperatur gekühlt werden, die unterhalb der vorgegebenen Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases liegen. Somit wird eine prozeßgemäße Ausgangssituation herbeigeführt.

Gemäß noch eines weiteren Ausführungsbeispiels der vor-
35 liegenden Erfindung sind vergrabene Platten im Substrat benachbart angeordnet und die elektromagnetische Strahlung wird unter einem von 90° verschiedenen Einfallswinkel bezüglich

einer Hauptoberfläche des Substrats eingestrahlt, so daß die vergrabenen Platten, die an einem einer Quelle der elektromagnetischen Strahlung zugewandten Rand angeordnet sind, obere Bereiche der anderen vergrabenen Platten gegen die elektromagnetische Strahlung abschirmen.

Diese Ausführungsform der Erfindung ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine große Anzahl benachbart angeordneter Gräben vorliegt was z.B. bei sogenannten Speicherarrays der Fall ist. Ist bei einer solchen Anordnung nämlich erwünscht, daß nur ein unterer Bereich der Gräben bzw. der vergrabenen Platten erhitzt wird, können allerdings die Konstruktionsmerkmale der Beschichtungsanlage verbieten, daß die elektromagnetische Energie senkrecht auf diese unteren Bereiche der Gräben eingestrahlt wird. Bei einer Einstrahlung der elektromagnetischen Energie unter einem von 90° verschiedenen Winkel werden daher die am Rand des Array gelegenen Gräben quasi als "Opfergräben" benutzt, die die oberen Bereiche der weiter innen im Array gelegenen Gräben gegen die elektromagnetische Strahlung abschirmen: Es erhitzen sich nicht bloß die unteren Bereiche der außen gelegenen Gräben, sondern auch deren obere, der Quelle zugewandte Bereiche. Da die eingestrahelte elektromagnetische Energie fast vollständig durch die äußeren Gräben absorbiert wird, schirmen diese so den Bereich des Raumwinkels ab, in dem die oberen Grabenbereiche der innen gelegenen Gräben angeordnet sind. Folglich kann so auch bei einer Anordnung der Quelle zur Hauptebene des Substrats unter einem von 90° verschiedenen Winkel erreicht werden, daß zumindest für die innen im Array gelegenen Gräben lediglich eine Erhitzung der unteren Grabenbereiche erfolgt.

Gemäß noch einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung während der Einstrahlung verändert.

35

Insbesondere bei Gräben mit hohem Aspektverhältnis, d.h. tiefen und schmalen Gräben, ist es wünschenswert die Abschei-

15 dung am Boden des Grabens zu beginnen, um so eine Auffüllung
des Grabens von unten her zu erreichen. Auf diese Weise wird
die Bildung von Hohlräumen zumindest vermindert. Bei der Fül-
lung des Grabens muß dann die Abscheidungszone, d.h. der Be-
reich der Grabenwand, der eine über der vorgegebenen Abschei-
dungstemperatur liegende Temperatur aufweist, vom Boden aus
sich weiter nach oben erstrecken. Zum einen geschieht dies
von allein durch die Wärmeleitung von den erhitzten Bereichen
zu ihrer Umgebung hin. Zum anderen kann aber durch die oben
10 beschriebene Änderung des Einfallswinkels während der Ein-
strahlung dieses Wandern der Abscheidungszone aktiv unter-
stützt bzw. herbeigeführt werden. Dabei ist es auch denkbar,
daß die Einstrahlung der elektromagnetischen Energie gepulst
ist und der Winkel zwischen den Pulsen verändert wird.

15

Im folgenden werden weitere Ausführungsbeispiele der Er-
findung anhand der beigefügten Zeichnungen erläutert. Dabei
zeigt:

20 FIG. 1A einen Querschnitt eines Grabens mit vergrabener
Platte.

FIG. 1B eine Draufsicht auf den Graben aus Fig. 2A sowie
mögliche Polarisierungen der elektromagnetischen
25 Strahlung sowie mögliche Orientierungen eines Ma-
gnetfelds.

FIG. 2A einen Querschnitt eines Halbleiterprodukts in einem
ersten Stadium des Herstellungsprozesses gemäß ei-
nem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.
30

FIG. 2B das Halbleiterprodukt aus Fig. 3A in einem zweiten
Stadium des Herstellungsprozesses.

35 FIG. 2C das Halbleiterprodukt aus Fig. 3B in einem dritten
Stadium des Herstellungsprozesses.

- FIG. 2D das Halbleiterprodukt aus Fig. 3C in einem vierten Stadium des Herstellungsprozesses.
- 5 FIG. 2E das Halbleiterprodukt aus Fig. 3D in einem fünften Stadium des Herstellungsprozesses.
- FIG. 3 mehrere benachbart angeordnete Gräben während des Herstellungsprozesses, wobei der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung gewählt ist.
- 1
- FIG. 4 mehrere benachbart angeordnete Gräben während des Herstellungsprozesses, wobei der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das von dem in Fig. 4 gezeigten verschieden ist, gewählt ist.
- 15
- 20 FIG. 5 die jeweilige Eindringtiefe bezogen auf die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung für mehrere spezifische Widerstände des dotierten Materials.
- FIG. 6 ein Beispiel dafür, wie sich ein unerwünschter Hohlraum (void) ausbilden kann.
- 25
- FIG. 7 die Wachstumsrate von Siliziumschichten in Abhängigkeit von der Abscheidungstemperatur.
- 30 FIG. 8 die Wachstumsrate von Polysiliziumschichten in Abhängigkeit von der Abscheidungstemperatur.

Fig. 1A zeigt ein erstes Herstellungsstadium eines Grabenkondensators: In ein Substrat 1 ist ein Graben 2 geätzt worden, der beispielsweise eine Weite von ungefähr 0,1 μm und eine Tiefe von ungefähr 6 μm aufweist. Weiterhin ist eine vergrabene Platte 3 in einem im umgebenden Substrat angeord-

35

neten Bereich eingebracht. Die Herstellung der vergrabenen Platte kann auf eine bekannte Art und Weise erfolgen, wie sie beispielsweise weiter vorne im Zusammenhang mit dem Stand der Technik beschrieben worden ist.

5

Die Fig. 1B zeigt eine Draufsicht auf die Anordnung aus Fig. 1A, wobei die Umrisse der vergrabenen Platte gestrichelt dargestellt sind, um anzudeuten, daß sie unterhalb der Substratoberfläche liegt. Weiterhin sind mögliche Polarisationen der elektromagnetischen Strahlung sowie mögliche Orientierungen eines Magnetfelds dargestellt. Die Polarisierung des elektromagnetischen Felds kann dabei sowohl eine transversale wie auch eine zirkulare Komponente aufweisen, insbesondere können die jeweiligen Komponenten auch alleine vorliegen. Zusätzlich kann ein starkes Magnetfeld zum räumlichen Einfang heißer Elektronen angelegt werden.

Die Fig. 2A zeigt ein erstes Stadium des Herstellungsprozesses eines Halbleiterprodukts gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Dabei ist in einem Substrat 1 ein Graben 2 angeordnet, der beispielsweise eine Breite von ungefähr $0,1 \mu\text{m}$ und eine Tiefe von ungefähr $6 \mu\text{m}$ aufweist.

In einen den Graben 2 umgebenden Bereich des Substrats 1 wird nun, wie in Fig. 2B dargestellt, eine vergrabene Platte 3 eingebracht. Dazu wird beispielsweise eine hochdotierte Polysiliziumschicht in den Graben abgeschieden. Während eines nachfolgenden Temperungsschritts diffundiert dann der Dotierstoff aus dem Polysilizium in das umliegende Substrat aus, das so hoch dotiert wird. Abschließend wird dann die verbliebene Polysiliziumschicht wieder aus dem Graben entfernt.

In Fig. 2C ist ein weiteres Stadium des Herstellungsprozesses gezeigt, bei dem ein Mittel 4 zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung 5 so zu einer Hauptoberfläche 1a des Substrats angeordnet wird, daß der Einfallswinkel 6 der

elektromagnetischen Strahlung 5 zur Hautoberfläche 1a im wesentlichen senkrecht ist. Die elektromagnetische Strahlung durchdringt dabei das Substrat 1 im wesentlichen ungehindert und wird dann in einem unteren Bereich 3a der vergrabenen
5 Platte 3 absorbiert.

Dieses Verhalten erklärt sich aus dem in Fig. 5 gezeigten Verhalten der Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge für verschiedene
10 ne spezifische Widerstände des durchdrungenen Materials. Daraus geht hervor, daß zum einen die Eindringtiefe mit größerer Wellenlänge zunimmt, aber vor allem die Eindringtiefe für Materialien mit großem spezifischen Widerstand hoch und für Materialien mit niedrigem spezifischen Widerstand gering ist.
15 Da das Substrat 1 nur gering oder gar nicht dotiert ist, weist es einen hohen spezifischen Widerstand auf. Daher ist die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung im Substrat groß, typischerweise im Millimeterbereich. Die vergrabene Platte 3 besteht dagegen aus hochdotiertem Material und
20 weist daher einen vergleichsweise niedrigen spezifischen Widerstand auf. Für sie ist die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung daher vergleichsweise gering, typischerweise nur im Mikrometerbereich. Aufgrund dieses Unterschieds von
25 beispielsweise drei Größenordnungen in der Eindringtiefe zwischen Substrat 1 und vergrabener Platte 3 kann man davon ausgehen, daß die elektromagnetische Strahlung praktisch ausschließlich in der vergrabenen Platte 3 absorbiert wird während das Substrat 1 für die elektromagnetische Strahlung transparent ist.

30

Da die elektromagnetische Strahlung 5 nur wenig in das hochdotierte Material der vergrabenen Platte 3 eindringt, werden nur in einem unteren Bereich 3a der vergrabenen Platte 3 Wirbelströme induziert. Somit erfolgt die Erhitzung lokal
35 in diesem unteren Bereich 3a der vergrabenen Platte.

Weiterhin wird ein erstes Vorläufergas 7a in die Vorrichtung eingebracht, wobei das erste Vorläufergas 7a beispielsweise Silan (SiH_4) oder Chlorosilan (SiCl_4) umfassen kann. Das Vorläufergas reagiert mit einer heißen Oberfläche, indem es zerfällt und auf sich auf der heißen Oberfläche eine erste Schicht 7b eines gewünschten Materials wie etwa Polysilizium ausbildet. Dabei ist für die Wachstumsrate der abgeschiedenen Schicht die Temperatur der heißen Oberfläche von entscheidender Bedeutung.

In Fig. 7 ist die Wachstumsrate einer Siliziumschicht in Abhängigkeit von der Temperatur für zwei verschiedene Versuchsbedingungen dargestellt. Dabei beziehen sich die kreisförmigen Datenpunkte auf eine Abscheidung bei 350 mTorr Kammerdruck und einer Zuführung von SiH_4 mit einer Rate von 200 cm^3/min . Die eckigen Datenpunkte beziehen sich auf eine Abscheidung bei 120 mTorr Kammerdruck und einer Zuführung von SiH_4 mit einer Rate von 50 cm^3/min . Deutlich erkennbar steigt die Wachstumsrate in beiden Fällen mit wachsender Temperatur exponentiell an. Folglich stellt die Abscheidungstemperatur eine kritische Größe beim Wachstum von Schichten dar. Unterhalb einer bestimmten Temperatur erfolgt das Wachstum so langsam, daß es praktisch nicht relevant ist, wogegen oberhalb dieser Temperatur ein genügend schnelles Dickenwachstum der Schicht erreicht wird. Dieses Verhalten wird auch durch die Fig. 9 unterstrichen, in der die Wachstumsrate von Polysiliziumschichten aus SiCl_4 -Vorläufergas in Abhängigkeit von der Abscheidungstemperatur gezeigt ist. Da die Wachstumsrate in beliebigen Einheiten angegeben ist, soll hier nur das vergleichbare Verhalten auch dieses Abscheidungsprozesses dargestellt werden.

Zusammenfassend läßt sich aus dem vorhergehenden Absatz entnehmen, daß die Abscheidungstemperatur eine entscheidende Größe für die Wachstumsrate von Schichten darstellt: Unterhalb einer vorgegebenen Temperatur ist das Wachstum so gering, daß es vernachlässigbar ist, während oberhalb dieser

Temperatur eine ausreichende Wachstumsrate für die abzuscheidende Schicht vorliegt. In dem in Fig. 2C gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Temperatur des Substrats 1 und der nicht erhitzten Bereiche der vergrabenen Platte 3 niedriger als diese vorgegebene Abscheidungstemperatur. Daher findet an den Oberflächen dieser Bereiche kein oder bloß ein vernachlässigbares Schichtwachstum statt. Dagegen wird der untere Bereich 3a der vergrabenen Platte 3 durch die induzierten Wirbelströme auf eine Temperatur aufgeheizt, die über der vorgegebenen Abscheidungstemperatur liegt. Daher erfolgt an den Oberflächen dieses erhitzten Bereichs 3a die lokale Abscheidung einer ersten Schicht 7b eines gewünschten Materials aus dem ersten Vorläufergas 7a.

Da nur der untere Bereich 3a der vergrabenen Platte 3 erhitzt wird, beginnt die Abscheidung der ersten Schicht 7b am Boden des Grabens. Durch Wärmeleitung oder aktives Nachführen, d.h. Verschwenken, des Mittels 4 werden dann nach und nach auch weiter oben liegende Bereiche der vergrabenen Platte 3 über die vorgegebene Abscheidungstemperatur erhitzt. Es setzt dann auch dort die Abscheidung des Materials 7b ein, so daß der Graben von unten nach oben mit einer konformen Schicht eines Kondensatordielektrikums ausgekleidet wird. Damit können Effekte wie etwa die in Fig. 7 gezeigte Ausbildung von Hohlräumen 9 verhindert werden.

Figur 2D zeigt einen weiteren Schritt im Herstellungsprozeß, der im wesentlichen dem vorangegangenen Schritt gleicht. Es wird ein zweites Vorläufergas 8a eingebracht und wiederum mittels Einstrahlung elektromagnetischer Energie ein unterer Bereich 3a der vergrabenen Platte und auch der ersten Schicht 7b über eine vorgegebene Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases 8a erhitzt. Somit bildet sich im unteren Bereich des Grabens 2 eine zweite Schicht 8b aus, die dann in der weiter oben beschriebenen Art und Weise den Graben 2 nicht bloß auskleidet sondern auffüllt. Allerdings ist das Substrat 1 mitsamt der vergrabenen Platte 3 und der er-

sten Schicht 7b vor dem Einbringen des zweiten Vorläufergases 8a soweit gekühlt worden, daß das Substrat 1, die vergrabene Platte 3 und die erste Schicht 7b eine Temperatur aufweisen, die unter der vorgegebenen Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläufergases 8a liegt.

Die Fig. 2E zeigt den Grabenkondensator mit erster Elektrode 3, Dielektrikum 7b und zweiter Elektrode 8b. Es ist anzumerken, das in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sowohl das Kondensatordielektrikum 7b wie auch die zweite Kondensatorelektrode 8b mit einem Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erzeugt worden sind. Allerdings ist es auch denkbar, daß das Kondensatordielektrikum anders als vorbeschrieben erzeugt wird und nur die zweite Elektrode 8b gemäß dem gescshilderten Verfahren erzeugt wird.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 3 dargestellt, wo mehrere Gräben 2 im Substrat 1 benachbart angeordnet sind. Bei jedem der Gräben 2 ist bereits eine vergrabene Platte 3 erzeugt worden, deren untere Bereiche 3a nun elektromagnetischer Strahlung 5 ausgesetzt sind. Diese Strahlung 5 induziert Wirbelströme, die eine Aufheizung der Bereiche 3a bewirken, woraufhin sich in oben beschriebener Art und Weise am Boden jedes Grabens 2 eine Schicht 7b ausbildet. Hierbei ist zu beachten, daß die elektromagnetische Strahlung 5 unter einem Winkel 6 von 90° zu einer Hauptoberfläche 1a des Substrats 1 einfällt, so daß die unteren Bereiche der benachbart angeordneten Gräben gleichartig erhitzt werden. Diese Ausführungsform erlaubt die gleichzeitige Herstellung einer großen Zahl von Grabenkondensatoren, wie sie etwa in DRAM-Arrays vorliegen.

In Beschichtungsanlagen ist kann die Einstrahlung von elektromagnetischer Energie unter einem Winkel von 90° nicht möglich sein, da beispielsweise unterhalb des Substrats eine Tragevorrichtung (Suszeptor) vorgesehen ist, der eine Anord-

Liste der Bezugszeichen

- 1 Substrat
- 1a Hauptoberfläche des Substrats
- 5 2 Graben
- 3 vergrabene Platte
- 3a erhitzter Bereich
- 4 Mittel zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung
- 5 elektromagnetische Strahlung
- 10 6 Winkel zur Hauptoberfläche
- 7a erstes Vorläufergas
- 7b erste Schicht
- 8a zweites Vorläufergas
- 8b zweite Schicht
- 15 9 unerwünschter Hohlraum

Patentansprüche

1. Verfahren zum lokalen Erhitzen eines in einem Substrat angeordneten Bereichs, umfassend die Schritte:

5

- Bereitstellen eines Substrats;

10

- Erzeugen zumindest eines in dem Substrat angeordneten Bereichs, der einen geringeren spezifischen Widerstand aufweist als das umgebende Substrat;

15

- lokales Erhitzen des Bereichs durch Induktion von Wirbelströmen mittels eingestrahlter elektromagnetischer Energie.

2.

Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge von $1 \cdot 10^{-5}$ m bis $1,4 \cdot 10^{-4}$ m aufweist.

20

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der im Substrat angeordnete Bereich einen spezifischen Widerstand von $1 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ bis $2 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$, vorzugsweise von $1 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ bis $1 \cdot 10^{-5} \Omega\text{m}$, aufweist.

25

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung unter einem im wesentlichen senkrechten Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Substrats eingestrahlt wird.

30

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung unter einem im wesentlichen von 90° verschiedenen Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Substrats eingestrahlt wird.

35

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die elektromagnetische Strahlung unter einem variablen
5 Einfallswinkel bezüglich einer Hauptoberfläche des Sub-
strats eingestrahlt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
10 der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung
während der Einstrahlung verändert wird.
8. CVD-Verfahren zum lokalen Abscheiden, umfassend die
Schritte:
- 15
- Bereitstellen eines Substrats mit zumindest einem dar-
in angeordneten Bereich geringeren spezifischen Wider-
stands, wobei das Substrat und der Bereich eine Tempera-
tur unterhalb einer vorgegebenen Abscheidungstemperatur
20 aufweisen;
 - Bereitstellen zumindest eines Vorläufergases;
 - lokales Erhitzen des Bereichs durch Induktion von Wir-
25 belströmen mittels eingestrahlter elektromagnetischer
Energie, wobei der Bereich auf eine Temperatur oberhalb
einer vorgegebenen Abscheidungstemperatur erhitzt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
30 dadurch gekennzeichnet, daß
der Schritt des lokalen Erhitzens durch ein Verfahren
gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
35 dadurch gekennzeichnet, daß
der erhitzte Bereich die vergrabene Platte eines Graben-
kondensators ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
ein unterer Bereich der vergrabenen Platte erhitzt wird.
- 5
12. Verfahren nach Anspruch 8 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
nach dem Schritt des lokalen Erhitzens ein zweites Vor-
läufergas eingebracht wird, wobei das Substrat und der
Bereich eine Temperatur aufweisen, die unterhalb einer
vorgegebenen Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläu-
fergases liegt, und anschließend
- 10
- der Bereich durch Induktion von Wirbelströmen mittels
eingestrahelter elektromagnetischer Energie lokal erhitzt
wird, wobei die Temperatur des erhitzten Bereichs größer
als die vorgegebene Abscheidungstemperatur des zweiten
Vorläufergases ist.
- 15
13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
zwischen dem Schritt des ersten lokalen Erhitzens und
dem Schritt des zweiten lokalen Erhitzens ein Kühl-
schritt eingefügt ist, wobei durch den Kühlschritt die
Temperatur des Substrats und des Bereichs unter die vor-
gegebene Abscheidungstemperatur des zweiten Vorläuferga-
ses gebracht wird.
- 20
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
vergrabene Platten im Substrat benachbart angeordnet
sind und die elektromagnetische Strahlung unter einem
von 90° verschiedenen Einfallswinkel bezüglich einer
Hauptoberfläche des Substrats eingestrahlt wird, so daß
die vergrabenen Platten, die an einem einer Quelle der
elektromagnetischen Strahlung zugewandten Rand angeordnet
- 25
- 30
- 35

sind, obere Bereiche der anderen vergrabenen Platten gegen die elektromagnetische Strahlung abschirmen.

15. Verfahren nach Anspruch 14,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
 der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung
 während der Einstrahlung verändert wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
 während der Einstrahlung der elektromagnetischen Strahlung
 ein starkes statisches Magnetfeld angelegt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
 das statische Magnetfeld senkrecht zur Hauptoberfläche
 des Substrats orientiert ist.

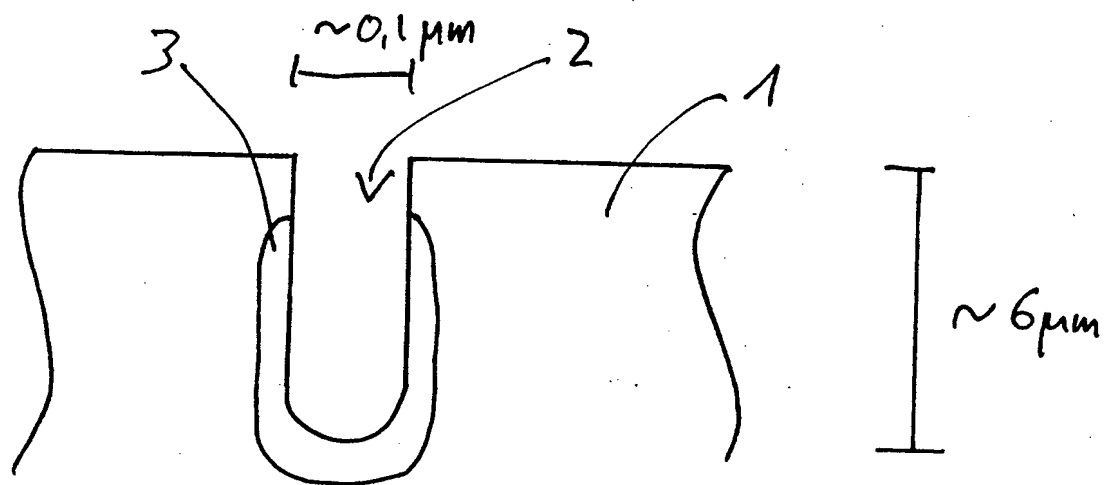
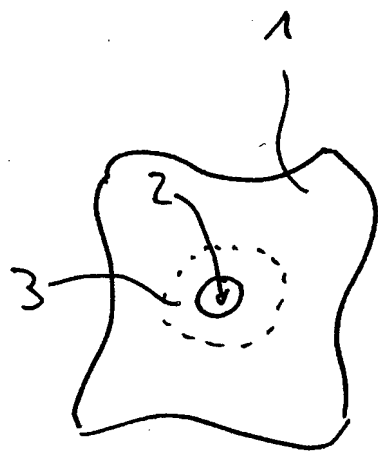


Fig. ~~2~~¹ A



Polarisationsrichtungen der elektromagnetischen Strahlung



mögliche Orientierung eines magnetischen Feldes



Fig. ~~2~~¹ B

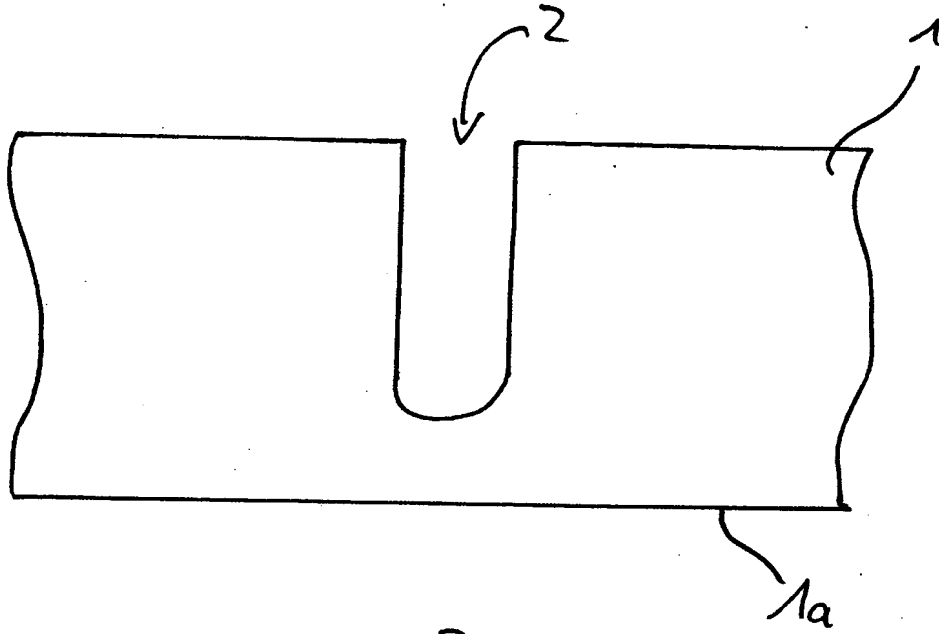


Fig. 2
B

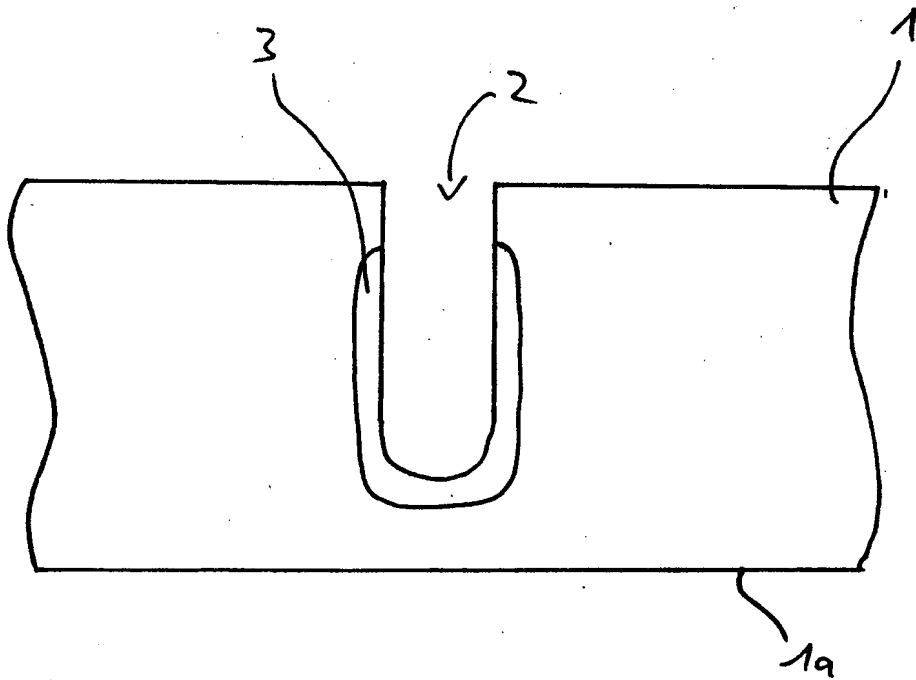


Fig. 2
B

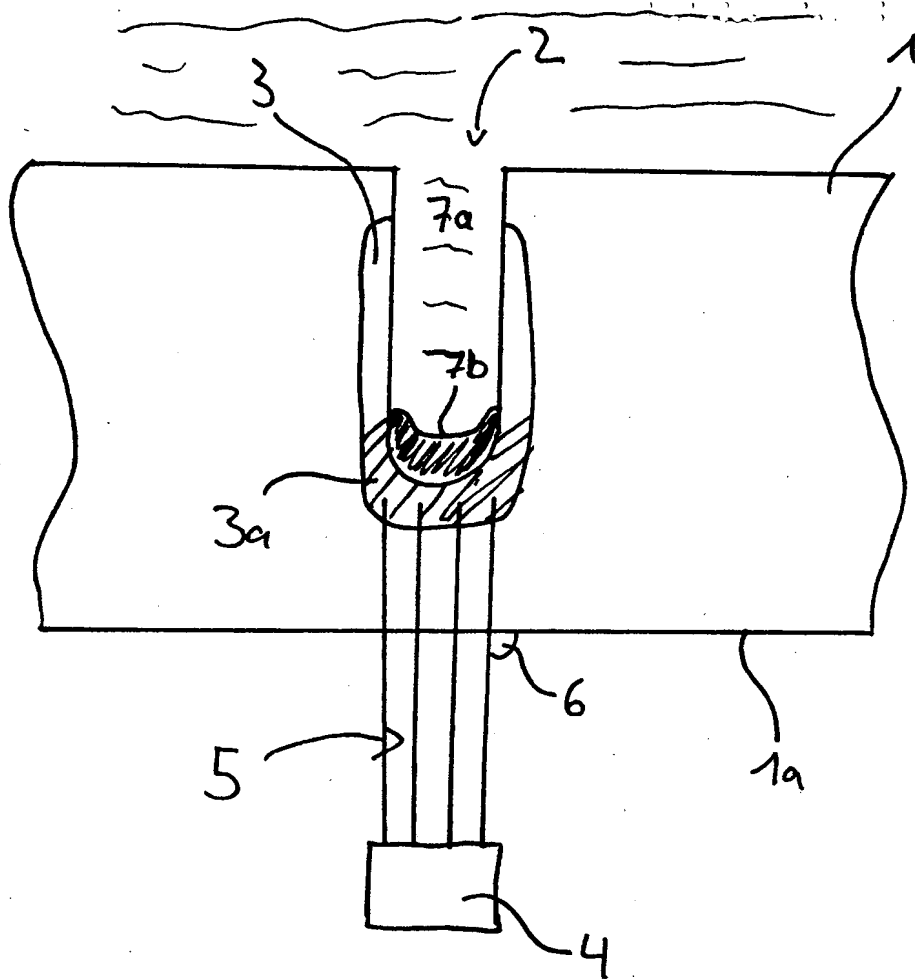


Fig. 2
C

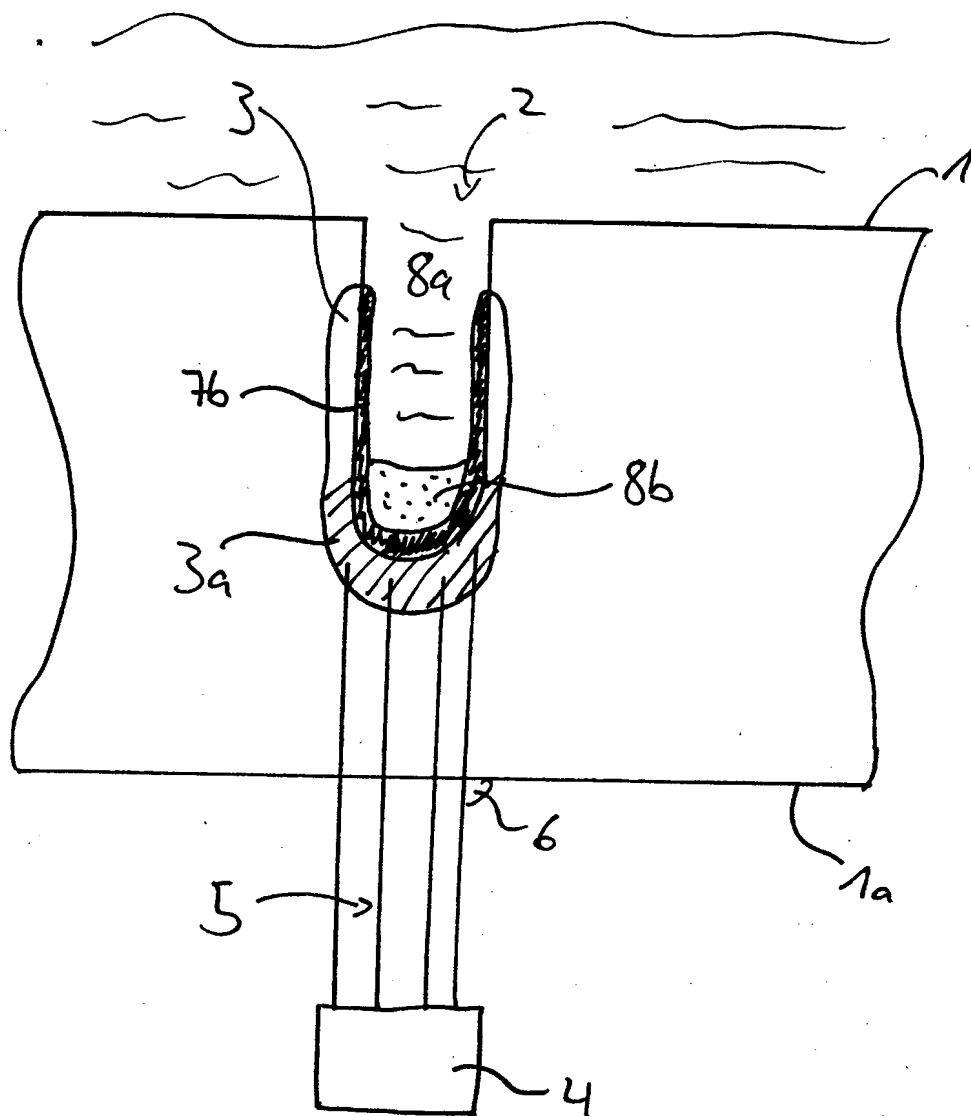


Fig. 2
31

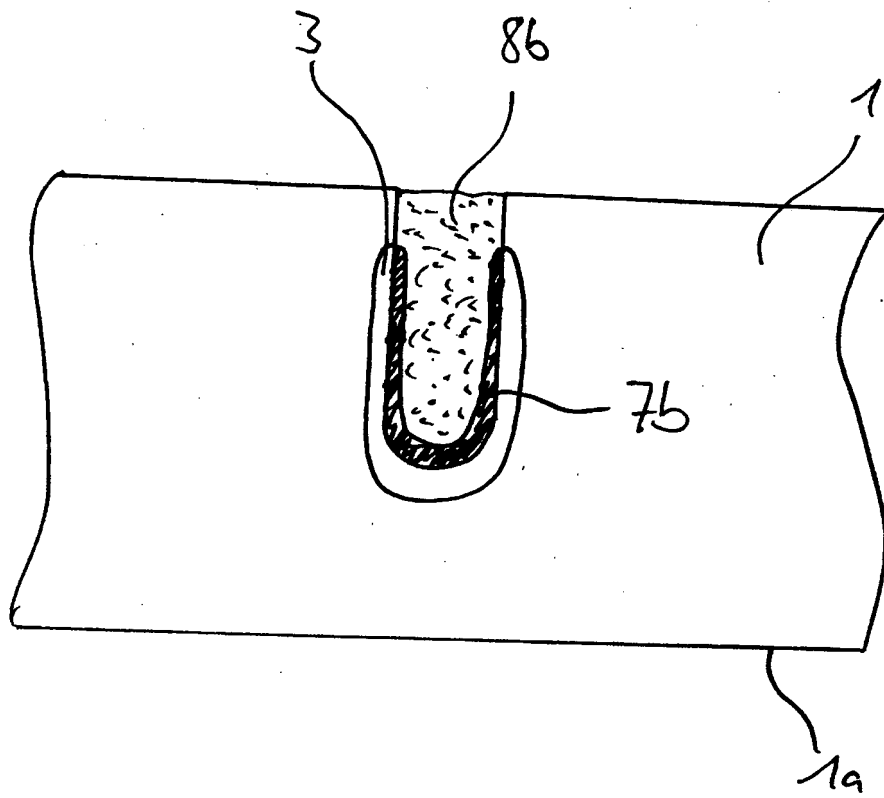


Fig. 2
3E

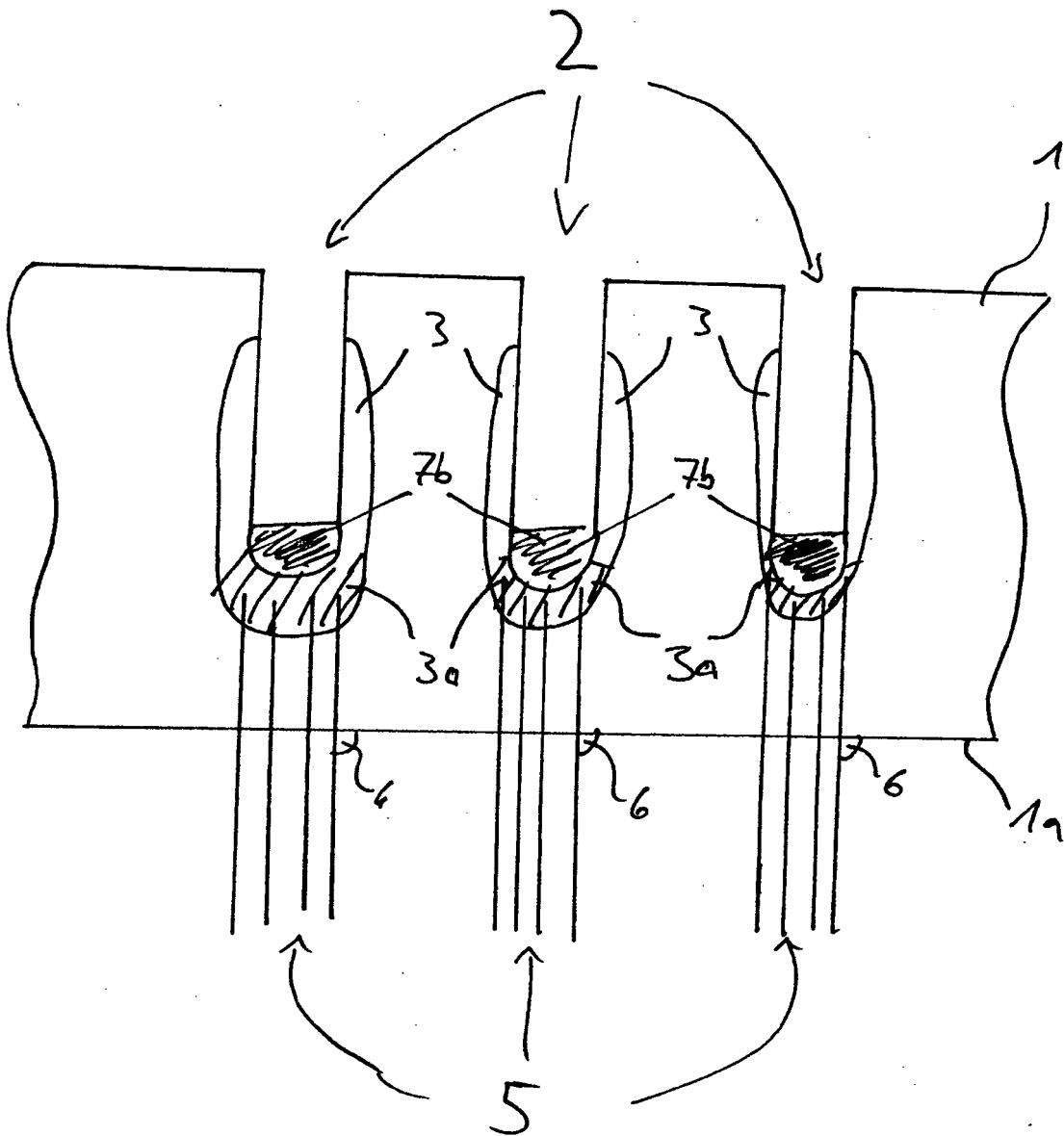


Fig. 3

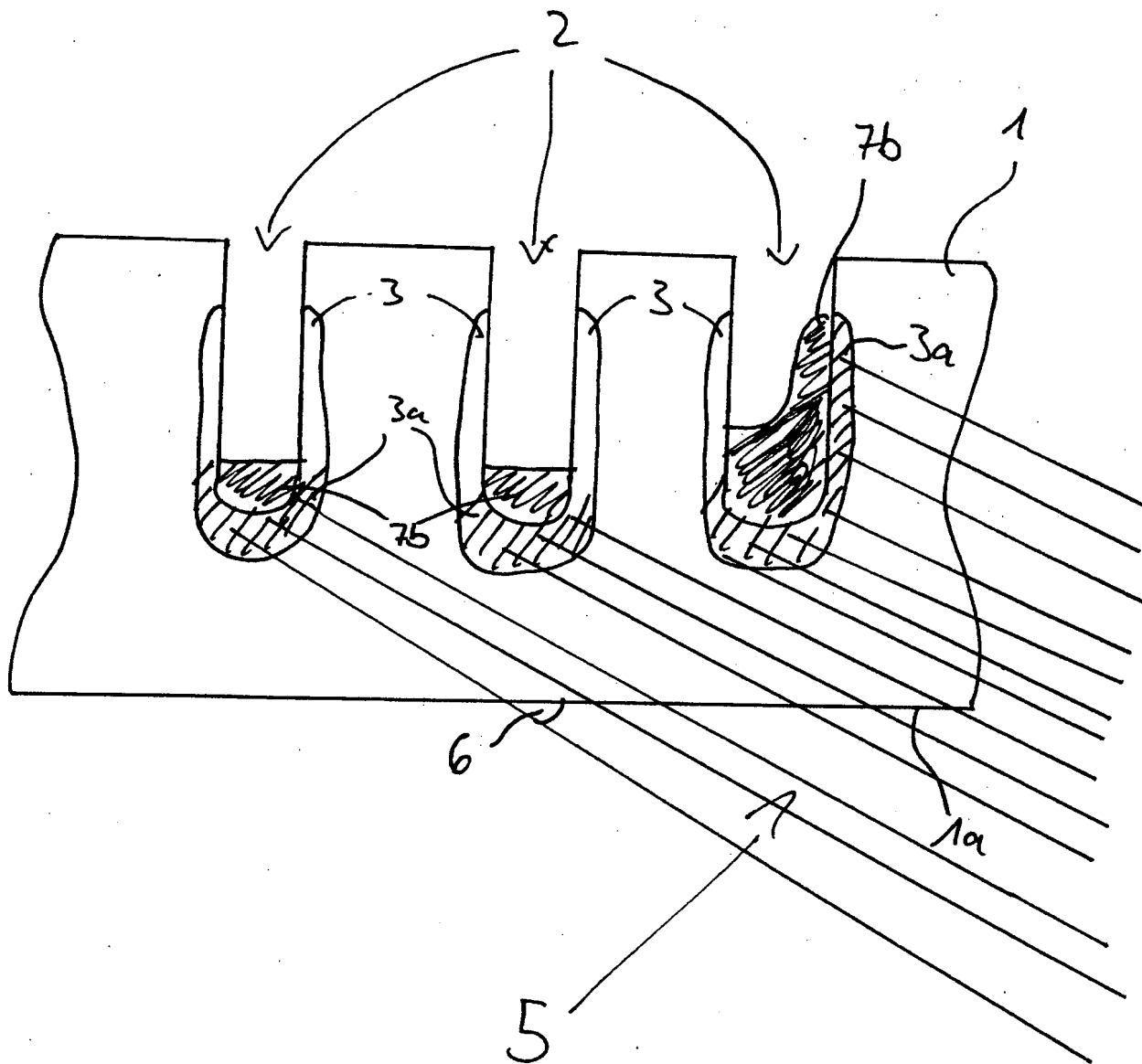


Fig. 54

00-07-00

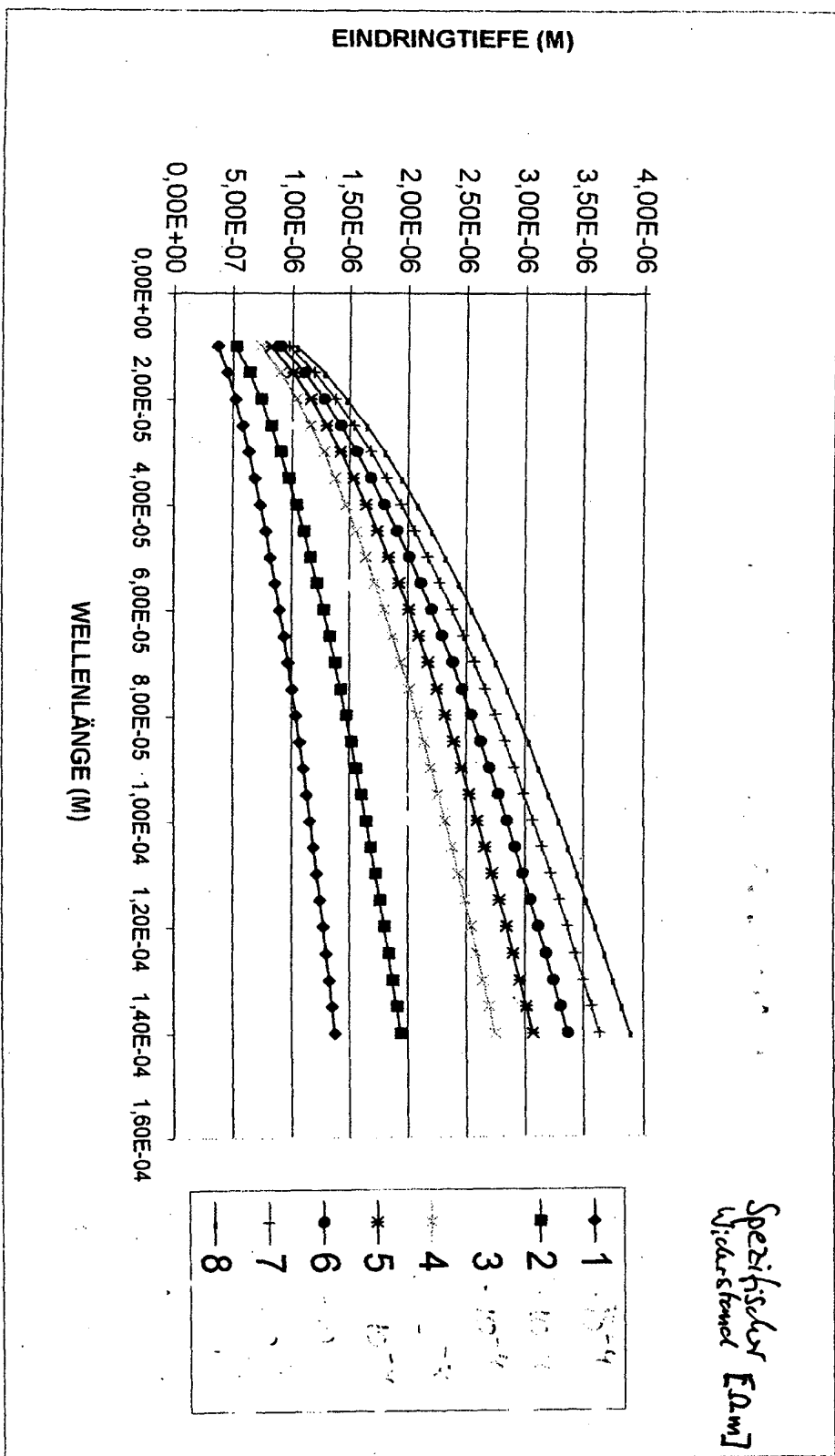


Fig. 5

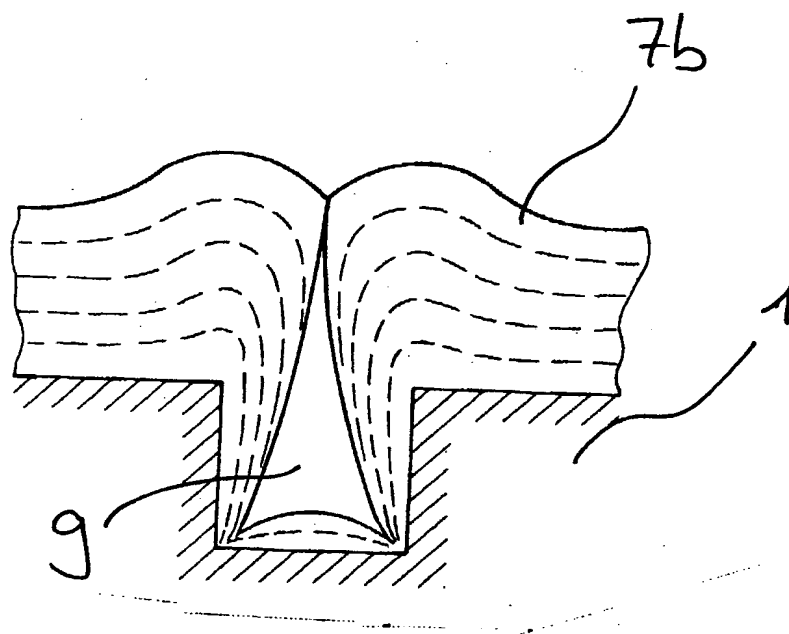


Fig. 6

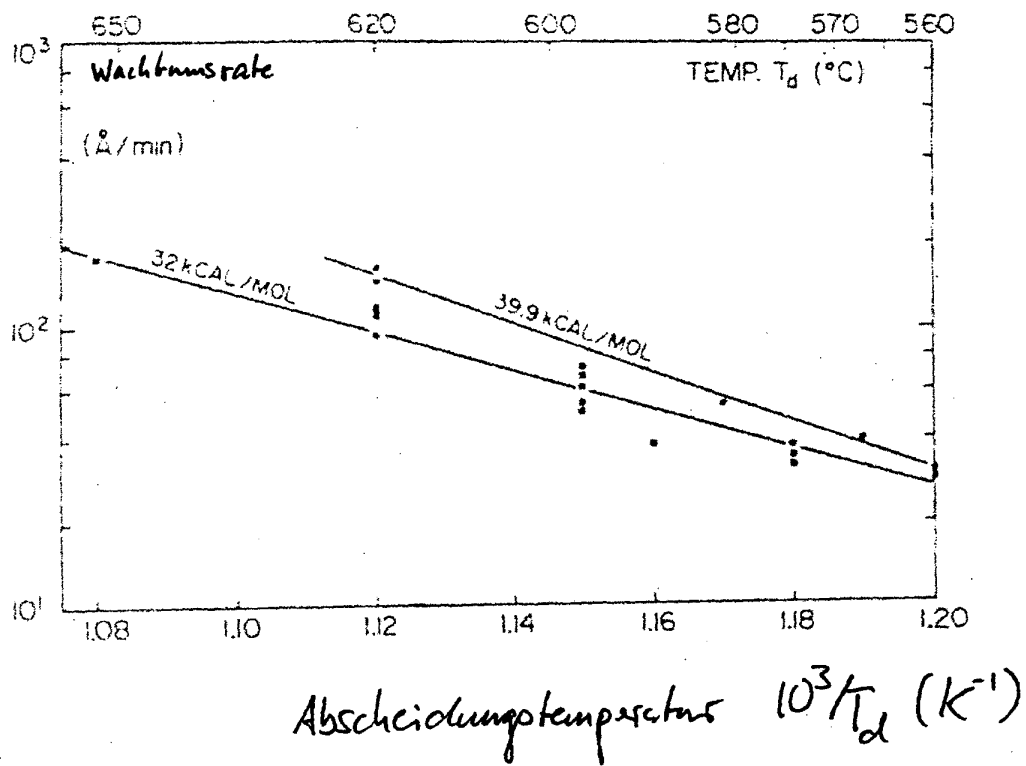


Fig. 87

Wachstumsrate (bel. Einheiten)

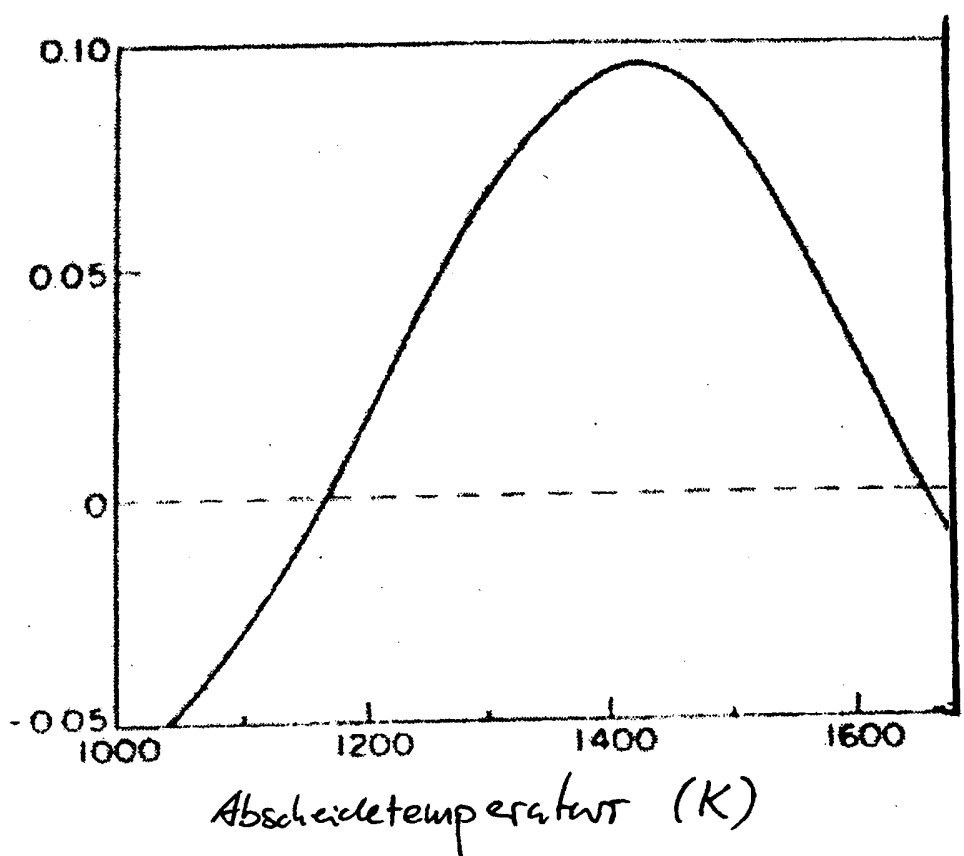


Fig. 1